



HAL
open science

Les besoins protéiques et énergétiques du veau de boucherie : détermination et facteurs de variation

Etienne Labussière, Gérard Bertrand, Jean Noblet

► **To cite this version:**

Etienne Labussière, Gérard Bertrand, Jean Noblet. Les besoins protéiques et énergétiques du veau de boucherie : détermination et facteurs de variation. *Productions Animales*, 2007, 20 (5), pp.355-364. hal-02662075

HAL Id: hal-02662075

<https://hal.inrae.fr/hal-02662075>

Submitted on 30 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les besoins protéiques et énergétiques du veau de boucherie : détermination et facteurs de variation

E. LABUSSIÈRE^{1, 2}, G. BERTRAND², J. NOBLET¹

¹ INRA, Agrocampus Rennes, UMR1079 Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine,
F-35590 Saint-Gilles, France

² Institut de l'Élevage, Monvoisin, BP 85225, F-35652 Le Rheu, France
Courriel : Etienne.Labussiere@rennes.inra.fr

L'Union Européenne a produit en 2006 environ 5,4 millions de veaux de boucherie. Les principaux pays producteurs, dont la France, ont connu un allongement des durées d'élevage et une augmentation importante du prix des matières premières employées dans l'alimentation. La connaissance des besoins protéiques et énergétiques des animaux et leur satisfaction constituent donc un enjeu stratégique pour le maintien de la compétitivité de cette production.

Les références élaborées par Toullec (1988) sur les besoins nutritionnels du veau de boucherie sont le résultat de travaux réalisés dans les années 70 sur des animaux de race frisonne nourris essentiellement au lait entier ou à la poudre de lait écrémé (parfois réenrichie par des matières grasses d'origine animale ou végétale). Cependant, le type génétique (prédominance de la race Prim'Holstein) et les modalités d'élevage (augmentations de l'âge et du poids d'abattage, diversification des matières premières utilisées dans les lactoreplaceurs et apport d'aliment solide) ont profondément évolué depuis la publication de ces références. Les recommandations nutritionnelles concernant les apports journaliers en protéines et en énergie, telles qu'elles ont été éditées à la fin des années 80, ont été peu remises à jour. L'objet essentiel de ce texte est de réaliser une synthèse des résultats et travaux disponibles sur les besoins nutritionnels quantitatifs du veau de boucherie, avec un intérêt particulier pour l'applicabilité de ces références au type génétique Prim'Holstein, notamment chez les animaux les plus âgés.

1 / Estimation du besoin en protéines des veaux de boucherie

La connaissance des besoins protéiques du veau de boucherie nécessite de déterminer le besoin protéique total qui est quantitativement fonction de

l'état physiologique et des performances de croissance. Qualitativement, le besoin protéique total consiste en un besoin en azote (essentiellement protéique) et en un besoin en acides aminés indispensables, c'est-à-dire la composition optimale en acides aminés des protéines dont l'animal a besoin. Cette composition a de plus une influence sur l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires et nous verrons par la suite dans quelle mesure les travaux effectués chez le veau de boucherie permettent d'approcher la notion de protéine idéale.

Le besoin protéique total des veaux de boucherie, d'abord estimé selon le besoin azoté total, est exprimé en Protéines Digestibles Apparentes (PDA), qui correspondent aux protéines apparemment digestibles à la fin du tube digestif. Le calcul du besoin azoté total est le plus souvent appréhendé selon une méthode factorielle, en dissociant le besoin azoté d'entretien et le besoin azoté de production. Pratiquement, cette technique consiste, en dissociant les voies métaboliques pour l'entretien et pour la production, à estimer les pertes (pour l'entretien) et la rétention (pour la croissance) et à calculer le besoin correspondant à l'aide d'un facteur d'efficacité d'utilisation.

1.1 / Estimation des pertes azotées correspondant au besoin d'entretien

Quel que soit le niveau de production d'un animal, des pertes inévitables

d'azote ont lieu par les voies fécales et urinaires : pertes endogènes fécales et pertes métaboliques urinaires principalement (les pertes cutanées peuvent être considérées comme négligeables chez l'animal en croissance). Ces pertes sont estimées séparément.

a) Les pertes endogènes fécales

Les pertes d'azote endogène fécales sont le résultat de la desquamation des cellules épithéliales et de différentes sécrétions dans la lumière du tube digestif. Il faut également y ajouter l'azote issu du métabolisme bactérien. Ces matières azotées peuvent être réabsorbées et utilisées par l'animal mais une fraction est perdue dans les fèces. Ces pertes sont considérées comme proportionnelles à la quantité de matière sèche ingérée. Cependant, le facteur de proportionnalité varie selon la nature de l'aliment et en particulier sa teneur en fibres. Ainsi, un aliment riche en fibres accroît le nombre des cellules caliciformes dans les villosités intestinales et donc la production de mucus (Schneeman *et al* 1982). De plus, la présence de fibres dans le tractus digestif stimule les sécrétions endogènes des glandes digestives annexes, sécrétion biliaire (Payne *et al* 1986) et sécrétion pancréatique (Langlois *et al* 1987), ce qui entraîne la libération d'une plus grande quantité d'azote endogène dans la lumière du tube digestif. Les pertes endogènes associées à l'ingestion de lactoreplaceur et celles liées à la consommation d'aliment solide sont finalement calculées séparément et sont

considérées comme additives pour ensuite les additionner et obtenir le besoin d'entretien (National Research Council (NRC 2001)).

Roy *et al* (1970a), par régression linéaire de l'azote apparemment digestible en fonction de l'azote ingéré, estiment ces pertes à 1,9 g d'azote par kilogramme de matière sèche ingérée chez des veaux de races Ayrshire, Jersiaise ou Frison de 50 à 60 kg nourris exclusivement au lait de remplacement. Cette valeur est d'ailleurs reprise dans la dernière édition du NRC (2001). Davis et Drackley (1998) évaluent à 2,2 g la perte d'azote par kilogramme de matière sèche ingérée, valeur calculée par régression par Donnelly et Hutton (1976a) chez des veaux mâles de race frisonne nourris au lait de remplacement formulé à base de poudres de laits entier et écrémé. A partir des données mesurées par Blome *et al* (2003) avec des veaux mâles de race Holstein de 45 à 70 kg, les pertes d'azote endogène fécal sont estimées à 1,8 g par kg de matière sèche ingérée. D'autre part, les données mesurées par van den Borne *et al* (2006a) chez des veaux mâles de race Holstein-Frison de 135 kg de poids vif moyen permettent de calculer une excrétion d'azote endogène fécal de 2,0 g par kg de matière sèche ingérée. En fait, l'utilisation de l'une ou l'autre valeur pour le calcul du besoin azoté total affecte peu le résultat (moins de 0,3 %). Nous proposons d'employer la valeur moyenne de 1,9 g/kg MS d'aliment d'allaitement qui semble proche des valeurs mesurées à différents stades de croissance chez des animaux de race laitière.

L'apport d'aliment solide au veau de boucherie modifie sensiblement l'excrétion d'azote fécal endogène. Ainsi, Stobo et Roy (1973) estiment ces pertes d'azote endogène à 3,4 g par kilogramme de matière sèche ingérée par jour chez des veaux frisons de 120 kg nourris exclusivement aux granulés de céréales et de farine d'oléagineux (comportant également de la poudre de lait écrémé (< 10 %) et de la farine de poisson (< 5 %)). Cette valeur est proche de celle retenue par le NRC (2001 ; 3,3 g/kg MS), à partir des travaux synthétisés par Roy en 1980.

b) Les pertes métaboliques urinaires

Les pertes métaboliques urinaires sont relatives au métabolisme global de l'animal. Elles sont donc proportionnelles à une «dimension» métabolique de l'animal, la plus couramment employée étant le poids métabolique

(la puissance 0,75^{ème} du poids vif). Roy *et al* (1970a) et Stobo et Roy (1973) ont montré l'existence d'une relation linéaire entre le logarithme décimal de l'excrétion urinaire et l'ingestion d'azote. L'ordonnée à l'origine de cette régression permet d'estimer les pertes urinaires métaboliques, c'est-à-dire à ingestion azotée nulle. Cette relation est cependant difficile à interpréter sur un plan biologique et nous proposons d'estimer ces pertes en employant la relation linéaire entre l'azote urinaire et l'azote absorbé, dans les cas où les niveaux d'apports protéiques sont inférieurs au besoin.

Le tableau 1 présente les valeurs calculées à partir des données de la bibliographie. Dans ces études, les animaux utilisés étaient des mâles dont le poids variait entre 54 et 122 kg. Les résultats obtenus varient de 0,11 à 0,26 g d'azote métabolique par kilogramme de poids métabolique ($\text{kg}^{0,75}$) et par jour. Les recommandations actuelles s'appuient sur des pertes urinaires endogènes de 0,20 g/kg $\text{PV}^{0,75}/\text{j}$ (Davis et Drackley 1998, NRC 2001). Néanmoins, Bartlett *et al* (2006) ont mesuré une excrétion journalière d'azote métabolique urinaire équivalente à la moitié de celle calculée par le NRC (2001) chez des veaux mâles de 54 kg de race Holstein nourris à base de concentré protéique de lactosérum et de poudre de lactosérum. Finalement, nous proposons d'employer la valeur moyenne des données de la bibliographie présentées dans le tableau 1 (0,15 g/kg $\text{PV}^{0,75}/\text{j}$).

1.2 / Estimation de la rétention azotée correspondant au besoin de production

Le besoin azoté de production se mesure lorsque l'animal est en phase de croissance et que les apports azotés sont supérieurs au strict besoin azoté d'entretien (et qu'aucun autre facteur ne limite la croissance). Ce besoin peut être mesuré de deux manières :

- par la méthode des bilans qui permet de calculer la quantité d'azote retenu par différence entre les entrées (*i.e.* l'ingestion d'azote) et les sorties (*i.e.* les pertes fécales et urinaires) ;

- par la méthode des abattages comparés : on mesure alors directement la quantité d'azote retenu par l'animal par comparaison avec un animal ou un lot témoin abattu en début d'expérience.

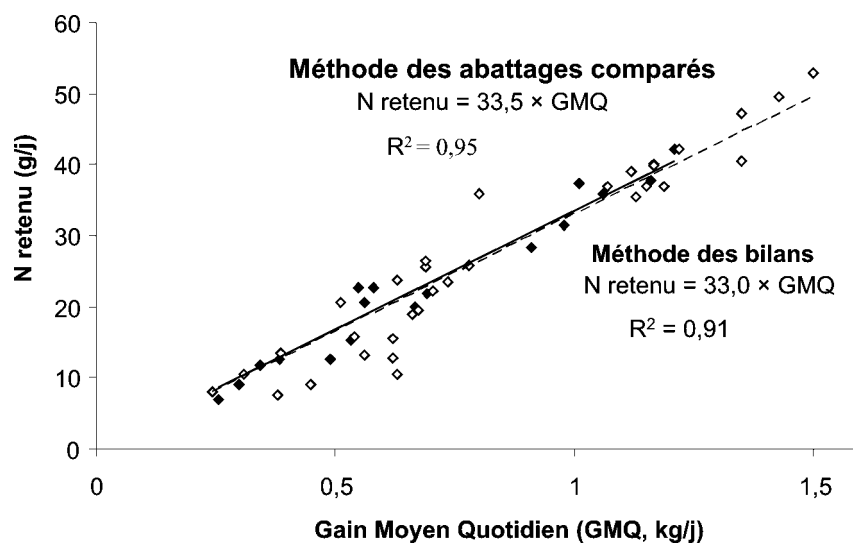
De façon à pouvoir calculer le besoin azoté de production dans des situations variées pour le veau de boucherie, il est nécessaire de relier ce besoin à un critère d'intérêt zootechnique, qui soit aisément mesurable et qui corresponde à un objectif de production. Le Gain Moyen Quotidien de poids vif (GMQ) semble être un critère pertinent puisque la concentration azotée du GMQ est relativement constante et égale à 30 g/kg de GMQ selon Davis et Drackley (1998) et le NRC (2001). Cependant, la synthèse des données de la bibliographie, présentée à la figure 1, indique des résultats sensiblement plus élevés. Les résultats ont été obtenus soit par la méthode des bilans, soit par la méthode des abattages comparés.

Tableau 1. Coefficients d'estimation des pertes urinaires métaboliques.

Races	Poids vif (kg)	Perte ⁽¹⁾ (g/kg $\text{PV}^{0,75}$)	Source
Ayrshire + Frison + Jersiais	58	0,11	Roy <i>et al</i> 1970a
Ayrshire + Frison + Jersiais	94	0,18	Roy <i>et al</i> 1970a
Frison	122	0,20	Stobo et Roy 1973
Holstein	55	0,16	Lynch <i>et al</i> 1978
Holstein	55	0,16	Blome <i>et al</i> 2003
Holstein	54	0,10	Bartlett <i>et al</i> 2006
Moyenne		0,15	

(1) Valeur fournie par les auteurs ou calculée sur la base des résultats de bilan azoté en les rapportant au $\text{PV}^{0,75}$ (voir texte).

Figure 1. Evolution de la quantité d'azote retenu en fonction du gain moyen quotidien des veaux selon la technique d'estimation : méthode des bilans (\diamond) ou méthode des abattages comparés (\blacklozenge).



D'après les travaux de Roy *et al* (1970 a et b), Vermorel *et al* (1974), Holmes et Davey (1976), Neergaard (1976), Guilloteau et Toullec (1980), Kanjanaputhipong (1998), Diaz *et al* (2001), Blome *et al* (2003), Bartlett *et al* (2006).

Pour l'ensemble des données, les coefficients de concentration azotée du GMQ sont de 33,5 et de 33,0 g/kg pour respectivement la méthode des abattages comparés et la méthode des bilans. En rassemblant les deux séries de données, la concentration azotée du GMQ s'élève à 33,1 g/kg. Les valeurs présentées sur ce graphique sont issues de travaux réalisés sur des veaux mâles de différentes races (Holstein, Frison, Ayrshire, Jersiais) et de différents poids vifs (de 30 à 240 kg) : aucun effet du génotype ou de la classe de poids vif ne peut être mis en évidence. Aussi, comme le soulignaient Toullec *et al* (1978), la concentration azotée du gain de poids vif est peu dépendante de la race, du poids ou de l'âge des animaux considérés, au moins pour les animaux de type laitier nourris à un niveau d'apport protéique supérieur au besoin.

Cependant, la concentration azotée du gain de poids vif journalier peut varier avec le rapport entre l'énergie et les protéines dans la ration. Ainsi, Bartlett *et al* (2006) ont distribué de la troisième à la huitième semaine de croissance quatre aliments isoénergétiques différant par leur niveau azoté (de 14,3 à 24,8 % de protéines) à des veaux mâles Holstein et selon deux niveaux d'ingestion (matière sèche offerte (kg/j) : 1,25 et 1,75 % du poids vif). La concentration azotée du gain de poids vif vide était mesurée à l'aide de la méthode des abattages comparés. Le tableau 2 résume leurs principaux

résultats. Il apparaît que la concentration azotée du gain de poids vif augmente lorsque la concentration azotée de l'aliment augmente et ce quel que soit le niveau d'ingestion. Malgré l'augmentation simultanée de l'ingestion azotée, la concentration azotée du gain de poids vif vide est toujours plus faible avec le haut qu'avec le bas niveau d'ingestion. Les auteurs concluent ainsi que chez des jeunes veaux, la concentration azotée du gain n'est pas une constante, au moins lorsque le niveau d'ingestion ou l'ap-

port azoté limitent la croissance du veau. Diaz *et al* (2001), en distribuant des quantités croissantes de lactoreplacers formulés à 30 % MAT à des veaux depuis leur naissance jusqu'à atteinte d'un poids vif de 65, 85 ou 105 kg observent également une variation de la concentration azotée du gain, alors que l'apport azoté n'était pas a priori le principal facteur limitant la croissance. La concentration azotée du gain de poids, employée pour la détermination du besoin protéique de production, devrait ainsi être fonction de la satisfaction du besoin énergétique du veau. Cet aspect sera développé ultérieurement.

1.3 / Efficacité d'utilisation de l'azote alimentaire

Le besoin protéique total se calcule comme la somme des besoins d'entretien et de production. Pratiquement, le besoin azoté total est calculé à partir de la somme des pertes azotées d'entretien et de la rétention azotée pour la croissance, corrigée d'un facteur d'efficacité d'utilisation de l'azote alimentaire qui correspond au maximum du rendement vrai d'utilisation de l'azote absorbé vrai.

Le rendement vrai d'utilisation de l'azote absorbé vrai (ρ) correspond au pourcentage d'azote absorbé qui est retenu par l'organisme, qui doit être corrigé des quantités d'azote d'origine endogène et métabolique présentes dans les fèces et l'urine évoquées précédemment. Le rendement ρ est calculé selon la formule :

$$\rho = 100 \times \frac{N_{\text{ingéré}} - [(N_{\text{fécal}} - N_{\text{fécal endogène}}) + (N_{\text{urinaire}} - N_{\text{métabolique urinaire}})]}{N_{\text{ingéré}} - (N_{\text{fécal}} - N_{\text{fécal endogène}})}$$

Tableau 2. Influence de la concentration azotée de l'aliment et du niveau alimentaire sur la composition du gain de poids vif vide.

Niveau d'ingestion (% PV)	1,25				1,75			
	2,24	2,88	3,52	4,16	2,24	2,88	3,52	4,16
Concentration azotée de l'aliment (%)	2,24	2,88	3,52	4,16	2,24	2,88	3,52	4,16
Gain de poids vif Vide ⁽¹⁾ (g/j)	255	300	384	343	491	534	669	693
Concentration azotée du gain (g/kg)	27,7	28,6	32,3	33,8	25,6	28,3	29,3	30,9

(1) D'après des mesures d'abattages comparés de Bartlett *et al* (2006) sur des veaux mâles de race Holstein nourris au lactoreplacateur formulé à base de lactosérum de 45 à 70 kg.

Tableau 3. Rendements d'utilisation pour la croissance de sources de protéines chez le veau de boucherie.

Poids vif (kg)	Rendement ⁽¹⁾ (%)	Source de protéines	Source
53-85	54-83	lait écrémé	Roy <i>et al</i> 1970a
82	55-63	lait écrémé	Roy <i>et al</i> 1970a
62-101	62-76	lait écrémé + lactosérum	Roy <i>et al</i> 1970a
29-48	69-79	lait entier	Holmes et Davey 1976
95	64	lait écrémé	Guilloteau et Toullec 1980
55-77	57-82	lait entier	Diaz <i>et al</i> 2001
52-58	66-70	lait entier	Blome <i>et al</i> 2003
49-58	67-83	lactosérum + concentré protéique de lactosérum	Bartlett <i>et al</i> 2006
130-175	64-75	lactosérum + concentré protéique de lactosérum	Van den Borne <i>et al</i> 2006a
180-220	65	lait	Meulenbroeks <i>et al</i> 1986

(1) Valeurs fournies par les auteurs ou calculées à partir des résultats en considérant des pertes azotées endogènes fécales et métaboliques urinaires égales à 1,9 g/kg matière sèche ingérée et 0,15 g/kg PV^{0,75}.

Les rendements publiés dans la littérature sont présentés dans le tableau 3. Les valeurs mesurées sont assez disparates et reflètent l'hétérogénéité des conditions de mesures, en particulier le niveau azoté de la ration et la qualité des protéines utilisées en fonction des autres paramètres (âge, poids, niveau énergétique de la ration...). En effet, une estimation correcte du rendement maximum d'utilisation d'une protéine nécessite de placer l'animal dans des conditions où l'apport protéique alimentaire est le facteur limitant la croissance. La valeur du rendement est donc d'abord sous l'influence du niveau d'ingestion protéique et plus précisément sous l'influence de l'équilibre entre l'apport protéique et les autres apports nutritifs de la ration (notamment l'énergie). Ainsi, Lodge et Lister (1973) ont mesuré le rendement d'utilisation des protéines du lait entier, avec ou sans apport énergétique supplémentaire sous forme de matières grasses (crème) ou de sucre (glucose). Chez des veaux mâles, Holstein-Frison, âgés d'un mois, le rendement d'utilisation des protéines issues d'un mélange lait entier-lait écrémé est de 73 % ; l'ajout de matières grasses ou de sucres entraîne une augmentation de ce rendement à respectivement 80 et 83 %.

Le second facteur de variation du rendement d'utilisation de l'azote digestible est qualitatif et représente la correspondance entre le profil en acides aminés des protéines alimentaires et le

profil en acides aminés de la protéine correspondant au besoin de l'animal (voir ci-dessous). Les sources laitières de protéines employées dans l'alimentation du veau de boucherie présentent quelques écarts dans leur composition en acides aminés (tableau 4). Néanmoins, Terosky *et al* (1997) en mesurant chez des veaux mâles de race Holstein de 65 à 70 kg le rendement apparent d'utilisation des protéines de quatre régimes différant par la nature des protéines employées (lactosérum, poudre de lait écrémé ou concentré protéique de lactosérum) concluent que le concentré protéique de lactosérum et la poudre de lait écrémé sont des sources de protéines dont le profil en acides aminés est proche de celui convenant le mieux au veau de boucherie. Par ailleurs, ils observent un accroissement de toutes les valeurs mesurées au-delà de deux semaines d'âge (tableau 5). De plus, les rendements apparents d'utilisation mesurés à huit semaines pour la poudre de lait écrémé et le lactosérum sont comparables à celui mesuré chez le veau nourri au lait entier. Finalement, bien que reconnaissant le manque de données concernant le rendement d'utilisation des protéines de lactosérum,

Blome *et al* (2003) considèrent en s'appuyant sur des travaux conduits chez des veaux de moins de 60 kg, que la valeur de 80 % retenue par le NRC (2001) est une bonne estimation des rendements d'utilisation des protéines présentes dans les matières premières utilisées aujourd'hui dans l'alimentation du veau de boucherie, au moins pour des animaux jeunes.

Cependant, cette notion peut être remise en cause lorsque l'âge augmente : Van Weerden (1972) a ainsi observé que le rendement apparent d'utilisation des protéines alimentaires (et consécutivement le rendement vrai ρ) diminue lorsque l'âge des animaux augmente. De plus, Diaz *et al* (2001) ont également constaté que le rendement apparent d'utilisation des protéines du lait entier est similaire lorsqu'il est mesuré chez des veaux de 65 ou 85 kg (66 %) mais qu'il diminue significativement ($P < 0,05$) chez des veaux de 105 kg (58 %). Cette décroissance de l'utilisation des protéines alimentaires pour la croissance a déjà été observée chez les ruminants en croissance et Ainslie *et al* (1993) ont ainsi développé (pour des poids vifs inférieurs à 300 kg) une équation de prédiction de cette efficacité décroissante lorsque le poids augmente. La compilation des données de la bibliographie relatives au veau de boucherie (tableau 3) nous permet de proposer une décroissance linéaire de ce rendement de 80 % en début d'élevage à 65 % vers la vingtième semaine.

1.4 / Le besoin protéique total

Le besoin en PDA peut être estimé par la formule ci-dessous (1) proposée par le NRC (2001). L'application de cette formule permet en outre de retrouver les valeurs proposées par Toullec en 1988, où la Matière Sèche Ingérée et le Gain Moyen Quotidien sont exprimés en kg/j, le Poids Vif en kg et le besoin en PDA en g/j.

Nous proposons de modifier légèrement cette formule en y appliquant les valeurs des paramètres issues de notre étude bibliographique. A l'âge j (en jours), le besoin en PDA peut alors s'exprimer selon la formule (2), où la Matière Sèche Ingérée et le Gain

$$PDA = 6,25 \times \left(\frac{(1,9 \times MSI + 0,2 \times PV^{0,75}) + (30 \times GMQ)}{0,80} - 1,9 \times MSI \right) \quad (1)$$

$$PDA = 6,25 \times \left(\frac{(1,9 \times MSI + 0,15 \times PV^{0,75}) + (33 \times GMQ)}{0,80 - 0,001 \times (j - 1)} - 1,9 \times MSI \right) \quad (2)$$

Tableau 4. Comparaison des profils en acides aminés de la protéine corporelle du veau de boucherie, des différentes recommandations et de matières premières utilisées dans l'alimentation du veau (exprimés par rapport à la lysine).

	Protéine Corporelle ⁽¹⁾	Recommandations				Protéine «Idéale» ⁽⁶⁾	Poudre de lait écrémé ⁽⁷⁾	Lactosérum doux écrémé ⁽⁷⁾
		(2)	(3)	(4)	(5)			
Lysine (g/j)			12	8	23			
Lys	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Thr	0,58	0,58	0,52	0,63	0,50	0,66	0,56	0,77
Trp	0,13	0,11	0,15	0,13	≤ 0,11	0,16	0,16	0,17
Met + Cys	0,45	0,51	0,33	0,47	0,41	0,55	0,46	0,45
Val	0,70	0,72	0,60	0,62	≤ 0,61	0,74	0,78	0,69
Ile	0,53	0,67	0,42	0,44	0,62	0,61	0,70	0,73
Leu	1,02	1,03	0,94	1,08	0,87	1,03	1,19	1,12
His	0,44	0,31	0,21	0,38	≤ 0,25	0,46	0,35	0,26
Phe + Tyr	0,99	0,72	0,46*	0,95	≤ 0,88	0,97	1,15	0,61

(1) données issues des mesures de Gerrits *et al* (1998) sur des veaux mâles, Holstein-Frison x Frison hollandais : moyenne des valeurs correspondent à la gamme de poids 80-160 kg et à la gamme de poids 160-240 kg.

(2) recommandations formulées par Toullec (1988) : moyennes des valeurs de recommandations pour les stades croissance et finition.

(3) recommandations formulées par Foldager *et al* (1977) à partir de travaux étudiant la teneur plasmatique de méthionine chez des veaux mâles holstein (40-45 kg) recevant cinq niveaux de méthionine (*valeur correspondant à la seule phénylalanine).

(4) recommandations formulées par Williams et Hewitt (1979) à partir de travaux étudiant le dépôt d'azote et la digestibilité apparente de l'azote chez des veaux mâles frisons (50-58 kg) recevant six niveaux de lysine.

(5) recommandations formulées par van Weerden et Huisman (1985) à partir de travaux étudiant le dépôt d'azote chez des veaux mâles Frisons hollandais (50-70 kg) recevant trois régimes différents selon leurs teneurs en acides aminés essentiels.

(6) valeurs de la protéine supposée «idéale», d'après la transcription des concepts utilisés en nutrition porcine (Henry 1993, Sève 1994) ; la composition en acides aminés de la protéine corporelle est issue des données de Gerrits *et al* (1998).

(7) données issues des tables de composition des matières premières (Sauvant *et al* 2004).

Moyen Quotidien sont exprimés en kg/j, le Poids Vif en kg et le besoin en PDA en g/j.

Il apparaît que le choix du rendement d'utilisation employé modifie notablement l'estimation du besoin en PDA : si les recommandations nutritionnelles sont proches en début d'engraissement, l'emploi d'un rendement d'utilisation décroissant conduit à augmenter l'estimation du besoin en PDA de presque 30 % en fin d'engraissement par rapport au besoin calculé en considérant un rendement d'utilisation constant. Cette approche met également en évidence que le besoin en PDA, rapporté

au gain de poids, varie au cours de la croissance : de 300 g PDA/kg GMQ pendant les neuf premières semaines, il est ensuite nécessaire d'apporter près de 400 g PDA/ kg GMQ en fin d'engraissement.

1.5 / Caractérisation qualitative du besoin protéique total : le profil en acides aminés de la protéine «idéale»

Le rendement d'utilisation d'une protéine peut constituer un critère d'estimation de l'adéquation entre le profil en acides aminés alimentaires et le pro-

fil en acides aminés correspondant à la protéine «idéale». Ce concept, utilisé chez le porc (Henry 1993, Sève 1994), tient compte à la fois de la composition moyenne des protéines corporelles, des autres voies d'utilisation des acides aminés et du rendement d'utilisation des acides aminés. Le concept de protéine idéale n'est pas employé pour le veau de boucherie. Il existe néanmoins des recommandations de profil en acides aminés des protéines alimentaires, basées sur l'utilisation digestive des acides aminés et le profil des protéines corporelles (tableau 4, Foldager *et al* 1977, Williams et Hewitt 1979, van Weerden et Huisman 1985, Toullec 1988). Du fait de la similarité physiologique entre le veau de boucherie et le porc et en supposant des similarités métaboliques entre ces deux espèces, nous proposons d'adapter les recommandations établies pour le porc en croissance au veau de boucherie : le profil en acides aminés de la protéine supposée idéale de veau s'obtient alors en multipliant, pour un acide aminé, la concentration moyenne de cet acide aminé dans les protéines corporelles de veau, exprimée par rapport à la lysine,

Tableau 5. Evolutions des rendements apparents d'utilisation des protéines de différentes origines laitières avec l'âge du veau de boucherie (d'après Terosky *et al* 1997).

Régime	1	2	3	4
Composition du régime (%)				
lactosérum	20,5	19,4	17,8	16,6
poudre de lait écrémé	47,7	32,2	16,2	0
concentré protéique de lactosérum	0	17,0	34,4	51,8
Rendements d'utilisation des protéines (%)				
semaine 2	45,5	58,3	32,1	69,1
semaines 4 - 6	70,6	75,5	74,7	75,8
semaine 8	68,3	71,2	72,3	69,7

par le coefficient de proportionnalité existant entre la concentration moyenne de cet acide aminé dans les protéines corporelles de porc et sa concentration dans la protéine idéale de porc. Les valeurs préconisées pour la protéine idéale de porc sont établies sur la base des digestibilités iléales. Le tableau 4 présente les profils moyens en acides aminés de la protéine corporelle de veau, de la protéine supposée «idéale» de veau et des diverses recommandations présentes dans la littérature. Ces dernières sont exprimées en acides aminés totaux par rapport à la lysine. La digestibilité iléale moyenne des acides aminés chez le veau préruminant a été estimée à 95 % (Guilloteau *et al* 1986).

Les recommandations d'apports en acides aminés pour les animaux de plus faible poids vif (références 3 et 4) ont été élaborées à partir de mesures faites sur quelques acides aminés (lysine, méthionine) et en déterminant les autres valeurs par comparaison avec les valeurs mesurées dans la protéine corporelle de veau. En conséquence, les valeurs calculées en transcrivant le principe de la protéine idéale sont assez élevées car elles tiennent également compte de l'utilisation «hors croissance» des acides aminés. Les valeurs éditées par Toullec (1988, référence 2) sont en revanche issues de travaux réalisés sur divers acides aminés. Le profil en acides aminés que nous proposons comme approximation du concept de protéine «idéale» du veau majeure légèrement les recommandations précédentes, hormis pour l'isoleucine.

La lysine, employée comme acide aminé de référence a été assez largement étudiée chez le veau de boucherie. Patureau-Mirand *et al* (1973) estiment le besoin journalier en lysine à 1,3 g/kg^{0,75} d'après des travaux menés avec des veaux mâles pendant les dix premières semaines d'élevage. Néanmoins, des travaux ultérieurs menés avec des animaux plus jeunes minimisent ces recommandations. Ainsi, van Weerden et Huisman (1985) ont estimé à 0,78 g/kg PV^{0,73} (soit environ 0,26 g/kg PV) le besoin en lysine de veaux mâles d'un poids variant de 55 à 70 kg selon un gain pondéral journalier de 875 à 1000 g. De même, Williams et Hewitt (1979) estiment le besoin en lysine à 0,43 g/kg PV^{0,75} (soit environ 0,16 g/kg PV) chez des veaux mâles de race frisonne, pesant entre 50 et 58 kg. Cependant, les animaux utilisés présentaient une croissance faible (250 g par jour) nuanciant cette dernière valeur.

Lorsque l'on compare ces profils en acides aminés avec ceux des principales sources de protéines alimentaires (Sauvant *et al* 2004), il apparaît que les protéines issues du lait entier présentent un profil en acides aminés assez similaire à celui considéré comme idéal. En revanche, les protéines issues de lactosérum ont un profil un peu plus éloigné (tableau 4).

2 / Estimation du besoin énergétique des veaux de boucherie

L'unité employée dans la littérature pour exprimer le besoin énergétique des veaux de boucherie est généralement l'Energie Métabolisable (EM). L'EM est la différence entre l'énergie ingérée par l'animal (énergie brute) et l'énergie perdue *via* les fèces, l'urine et les gaz issus des fermentations digestives. L'énergie perdue sous forme de méthane est très faible, au moins chez les veaux recevant pas ou peu d'aliment solide (Vermorel *et al* 1979). Elle a donc été le plus souvent ignorée dans l'estimation de la teneur en EM. Cette unité ne prend également pas en compte les pertes d'énergie sous forme de production de chaleur.

De même que pour les protéines, il est possible d'approcher le besoin énergétique total comme la somme des besoins énergétiques d'entretien et de production. Lorsqu'on alimente un animal en lui apportant des quantités croissantes d'énergie, celui-ci satisfait en premier lieu son besoin énergétique d'entretien jusqu'à atteindre d'un équilibre entre la quantité d'énergie ingérée par l'animal et le besoin énergétique d'entretien (bilan énergétique nul). Lorsqu'on continue d'accroître la quantité d'énergie apportée à l'animal, le bilan énergétique devient positif, ce qui correspond à une phase de production, c'est-à-dire de croissance dans le cas du veau de boucherie.

2.1 / Estimation du besoin énergétique d'entretien

Le besoin énergétique d'entretien (exprimé en EM) correspond au besoin en énergie de l'animal indépendamment de toute production, c'est-à-dire en bilan énergétique nul. Chez les animaux adultes, il correspond en grande partie au maintien des fonctions vitales et dépend donc de l'activité métabolique des tissus et est à relier au poids métabolique. En revanche, de nom-

breux processus biologiques (croissance musculaire, osseuse...) se poursuivent au détriment des réserves corporelles chez les animaux en croissance en bilan énergétique nul, entraînant un accroissement des dépenses énergétiques. La notion de besoin énergétique a néanmoins été maintenue chez les animaux en croissance car elle permet d'évaluer leurs besoins énergétiques totaux en fonction du poids vif, de la vitesse de croissance et de la composition du gain pondéral.

Les valeurs présentées dans le tableau 6 ont été obtenues par régression linéaire du bilan énergétique ou de la production de chaleur en fonction de la quantité d'EM ingérée par des animaux en bilan énergétique positif. Les valeurs présentées ont été obtenues dans des études réalisées avec des veaux mâles placés à des températures comprises entre 15 et 20°C.

Les valeurs présentées dans le tableau 6 varient de 376 à 561 kJ/kg PV^{0,75}. Si l'on exclut les valeurs obtenues avec les animaux les plus jeunes, le besoin d'entretien des veaux est en moyenne de 430 kJ/kg PV^{0,75}. Cette valeur moyenne est légèrement supérieure (+ 3 %) à la valeur indiquée dans la dernière édition du NRC (2001) et aux recommandations de Davis et Drackley (1998) ou de Toullec (1988) pour des veaux mâles de races laitières : 418 kJ ou 100 kcal par kg PV^{0,75}. Cette valeur est d'ailleurs en accord avec les recommandations que Vermorel (1976) préconisait à partir du regroupement de données bibliographiques et de données personnelles.

Les valeurs présentées ici pour des animaux de races laitières ne diffèrent pas sensiblement les unes des autres. En revanche, Vermorel *et al* (1989) ont montré que les veaux de races à viande (Charolais et Salers) présentaient un métabolisme de base plus faible que les veaux de races laitières (Holstein-Frison). De plus, les études sur la dépense d'entretien conduites dans d'autres espèces (Noblet *et al* 1999 chez le porc, par exemple) et notamment les limites méthodologiques des approches qui ont été utilisées conduisent à nuancer ces données qui méritent clairement d'être réactualisées ; la pertinence de l'exposant 0,75 pour estimer le poids métabolique est également à confirmer.

Le besoin énergétique d'entretien est plus important pendant les premières

Tableau 6. Efficacités d'utilisation de l'Energie Métabolisable pour la croissance chez les veaux de boucherie.

Source	Race	Poids moyen (kg)/âge	Entretien (kJ EM /kg ^{0,75})	Efficacité	Efficacité recalculée ⁽¹⁾
van Es <i>et al</i> 1969	Frison	45-60	436	0,68	0,67
Vermorel <i>et al</i> 1974	Normande	80-240	402	0,69	0,74
Holmes et Davey 1976	Frison	3-40 j	376	0,63	0,72
Kirschgessner <i>et al</i> 1976	Brune	100 kg	498	0,70	0,60
Neergaard 1976	Multirace	51,4	431	0,79	0,79
		56,6	431	0,72	0,72
		51,9	431	0,69	0,69
Vermorel <i>et al</i> 1980	Frison	5 sem	452	0,64	0,61
		10 sem	414	0,51	0,53
		23 sem	473	0,49	0,45
Aurousseau <i>et al</i> 1984	Frison	48,6	397	0,67	0,73
Schrama <i>et al</i> 1992	Hosltein-Frison	6-14 j	561 ⁽²⁾	0,68	0,52
Arieli <i>et al</i> 1995	Hosltein - Frison	2 sem	502	0,85	0,73
		3 sem	431	0,75	0,75
Gerrits <i>et al</i> 1996	Hosltein Frison × Dutch Frison	80-160	394	0,58	0,63
		160-240	452	0,67	0,64
Blome <i>et al</i> 2003	Hosltein	55	- ⁽³⁾	0,58	0,60
Bartlett <i>et al</i> 2006	Hosltein	49,4	- ⁽³⁾	0,74	0,76
		51,0		0,63	0,65
		54,1		0,67	0,69
		52,3		0,59	0,61
		56,5		0,57	0,59
		55,9		0,58	0,60
		56,9		0,61	0,63
		58,3		0,56	0,58
Moyenne⁽⁴⁾			430	0,64	0,65

(1) valeurs recalculées pour un besoin énergétique d'entretien de 430 kJ EM/kg PV^{0,75}.

(2) régression linéaire sur la production de chaleur.

(3) paramètre non estimé, efficacités estimées en considérant un besoin d'entretien de 418 kJ EM/kg PV^{0,75}.

(4) moyenne calculée en omettant les résultats de Schrama *et al* (1992) et Arieli *et al* (1995).

Les animaux étaient nourris au lait entier (Holmes et Davey 1976) ou au lactoreplaceur formulé à base de poudre de lait entier (Neergaard 1976) de poudre de lait écrémé (Vermorel *et al* 1974, Aurousseau *et al* 1984, Gerrits *et al* 1996), de poudre de lait écrémé et de poudre de lactosérum (Schrama *et al* 1992, Arieli *et al* 1995) de poudre de lactosérum et de concentré protéique de lactosérum (Bartlett *et al* 2006) ou de composition non précisée (van Es *et al* 1969, Kirschgessner *et al* 1976, Vermorel *et al* 1980, Blome *et al* 2003). L'énergie retenue a été estimée en employant la méthode des bilans en chambre respiratoire dans les études de van Es *et al* 1969, Vermorel *et al* 1974, Neergaard 1976, Vermorel *et al* 1980 et Aurousseau *et al* 1984, les autres études ont employé la méthode des abattages comparés.

semaines de la vie de l'animal. Les deux études (Schrama *et al* 1992, 1993a) réalisées à ce stade montrent que le besoin énergétique d'entretien est élevé à la naissance de l'animal (supérieur à 500 kJ/kg PV^{0,75}) puis diminue progressivement. Ceci peut s'expliquer par l'adaptation progressive à un environnement plus froid que

l'utérus maternel alors même que les réserves énergétiques et l'isolation thermique de l'animal sont encore faibles (Vermorel *et al* 1983).

Si le métabolisme énergétique des veaux de boucherie a été particulièrement étudié chez les animaux jeunes, peu d'informations sont disponibles

pour des animaux de plus de 100 kg. En revanche, il est possible de trouver quelques indications sur le besoin énergétique d'entretien des bovins en croissance de plus de 100 kg qui, bien qu'estimées dans le cas de ruminants, pourraient permettre d'approcher le besoin énergétique d'entretien des veaux de boucherie les plus lourds.

Ainsi, le NRC (1996) estime le besoin journalier d'entretien des bovins en croissance à hauteur de 322 kJ EN/kg PV^{0,75}. En considérant une efficacité de conversion de l'EM en énergie nette de 65 % (Garrett 1979), le besoin journalier en EM pour l'entretien des bovins en croissance peut être estimé à 492 kJ/kg PV^{0,75}, ce qui est supérieur à la moyenne considérée précédemment. En revanche, des travaux de Derno *et al* (2005) sur des boeufs Hereford de 285 kg (ruminants) estiment le besoin journalier en EM pour l'entretien à 416 kJ/kg PV^{0,75}, ce qui se rapproche de l'estimation de Vermorel *et al* (1974) réalisée chez des veaux préruminants de race normande pesant entre 90 et 240 kg (402 kJ/kg PV^{0,75}). Finalement, la valeur de 430 kJ/kg PV^{0,75}, bien qu'obtenue chez des animaux jeunes, peut constituer une estimation acceptable du besoin énergétique d'entretien des veaux les plus lourds. Cette valeur constitue en fait une moyenne pour des niveaux d'alimentation et des conditions environnementales variées qui constituent deux principaux facteurs de variation.

2.2 / Estimation du besoin énergétique de production

Dans le cas d'animaux en croissance, ce besoin dépend, d'une part, du gain de poids vif et de sa composition (eau, protéines, lipides... et donc de sa concentration énergétique), et d'autre part, de l'efficacité de conversion de l'EM en énergie retenue sous forme de protéines ou de lipides ou, à l'inverse, les pertes sous forme de production de chaleur liée au gain de poids. Cette efficacité de conversion est également déterminée par régression linéaire du bilan énergétique ou de la production de chaleur en

fonction de la quantité d'EM ingérée. Ainsi dans chaque étude, la valeur du besoin d'entretien et celle de l'efficacité de conversion de l'EM pour la croissance sont étroitement corrélées.

Tout d'abord, le tableau 6 présente l'efficacité d'utilisation de l'EM pour la croissance et le besoin d'entretien de veaux préruminants. La moyenne des valeurs présentées est de 0,64 (en omettant les valeurs pour les animaux les plus jeunes) ce qui est légèrement plus faible que la valeur de 0,69 retenue par Toullec *et al* (1978), peut-être du fait que la majorité des études rapportées concernent des animaux jeunes. De plus, les valeurs d'efficacité présentées ont été obtenues avec différentes valeurs de besoin énergétique d'entretien. Finalement, en considérant une valeur commune de besoin énergétique d'entretien (430 kJ EM/kg PV^{0,75}), l'efficacité moyenne d'utilisation de l'EM pour la croissance est de 0,65. Il n'existe pas, sur ces données, de corrélation entre le rendement d'utilisation de l'EM pour le gain et les concentrations lipidiques et protéiques du gain (coefficients de corrélation de respectivement 0,29 et - 0,34), ce qui est similaire aux observations de Toullec *et al* (1978) qui précisent également que le rendement est indépendant du poids vif, du gain de poids vif ou des caractéristiques de la ration. Ainsi, le besoin énergétique du veau de boucherie pour la croissance peut être exprimé en unités d'EM.

Le tableau 7 présente des données issues de la bibliographie permettant de caractériser la nature du gain de poids. La concentration protéique du gain de poids est comprise entre 16 et 26 %, mais la majorité des valeurs se situe entre 17 et 20 %. La concentration lipi-

dique du gain de poids présente des variations beaucoup plus importantes (de 8 à 31 %). Lorsque l'on s'intéresse à la concentration énergétique du gain de poids vif (figure 2), il apparaît que la variabilité de concentration protéique ne se répercute pas au niveau de la concentration énergétique du gain de poids, qui est par contre beaucoup plus dépendante de la teneur en lipides du gain de poids.

Toullec (1989), en rassemblant les données issues de travaux d'équipes de recherche INRA sur des veaux mâles des races frisonne et normande, a proposé une équation unique permettant de calculer le besoin en EM nécessaire pour la croissance. Cette équation s'appuie sur deux principes : lorsque l'animal vieillit, c'est-à-dire lorsque son poids vif augmente, la concentration protéique du gain de poids diminue alors que la concentration lipidique (Roy *et al* 1970a) et la concentration énergétique augmentent. De plus, à un poids vif donné, l'augmentation du gain de poids résultant d'un accroissement de l'apport énergétique se traduit par une réduction de la teneur en protéines du gain liée à une augmentation du dépôt de lipides (Diaz *et al* 2001). Le besoin énergétique de production est donc fonction du poids vif et du gain de poids. L'exposant affecté au Gain Moyen Quotidien a été estimé par itérations successives de façon à minimiser l'écart type résiduel de la régression entre le besoin en EM pour le gain et le poids vif. L'équation développée par Toullec (1978) est :

$$EM_{gain} = 3,51 \times PV^{0,355} \times GMQ^{1,2}$$

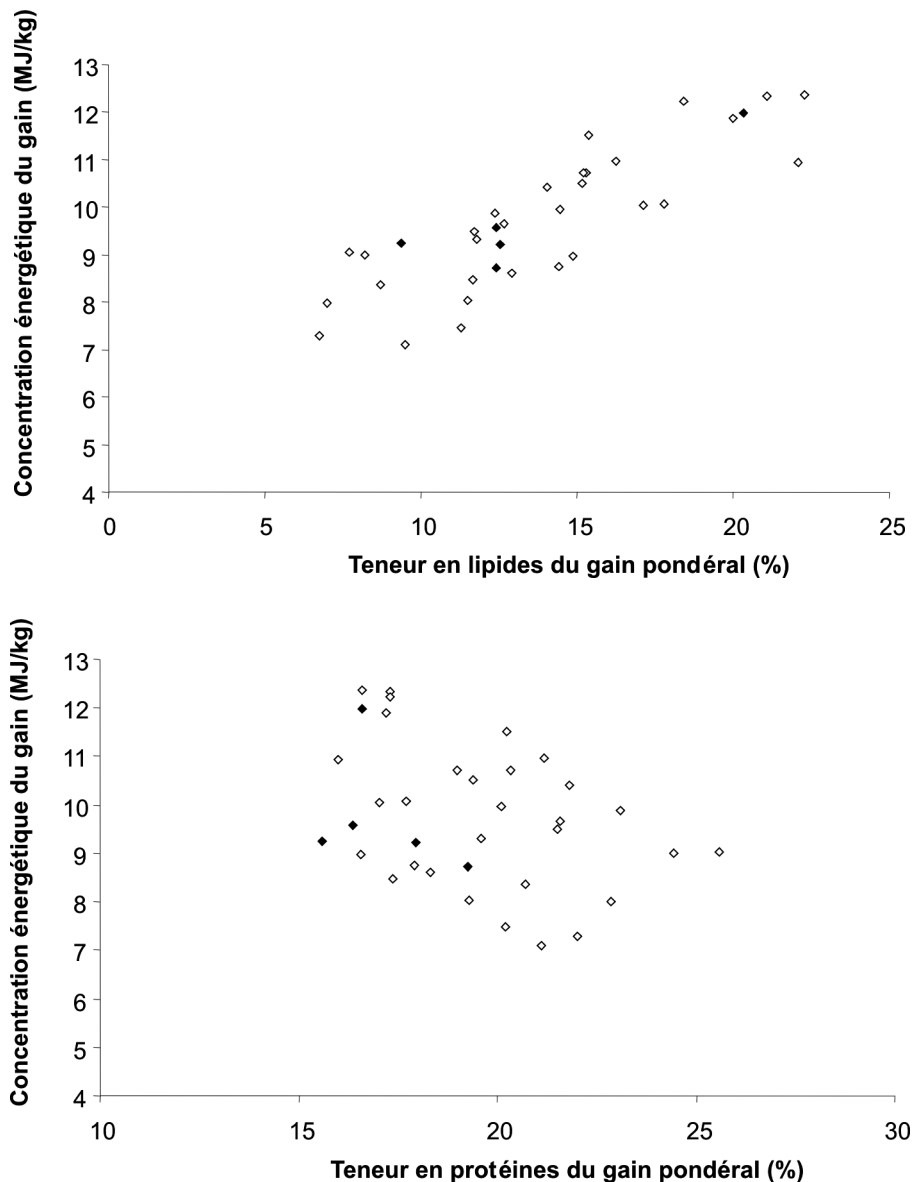
où le Poids Vif est exprimé en kg, le Gain Moyen Quotidien en kg/j et le

Tableau 7. Variations dans la composition du gain de poids vif chez des veaux mâles.

Poids (kg)/ âge	Gain (kg/j)	Energie retenue (MJ /kg gain)	Protéines (% gain)	Lipides (% gain)	Source et méthodes
88-187	1,07-1,35	13,0-17,8	20-22	21-31	Vermorel <i>et al</i> 1974 ($\alpha \gamma^{(1)}$)
61-70	0,50-0,76	9,3-12,4	17-22	12-22	Donnelly et Hutton 1976 a,b (β, δ)
48-50	0,98-1,21	8,7-9,6	16-19	9-12	Aurousseau <i>et al</i> 1984 ($\alpha \gamma$)
15-22 sem	1,07-1,26	9,2-12,0	17-18	13-20	Meulenbroeks <i>et al</i> 1986 ($\alpha \gamma$)
62	0,61-0,65	8,5-10	17	12-17	Tikofsky <i>et al</i> 2001 (β, δ)
65-99	0,55-1,21	8,0-10,0	19-26	7-16	Diaz <i>et al</i> 2001 (β, δ)
49-58	0,25-0,70	7,1-12,3	16-21	10-22	Bartlett <i>et al</i> 2006 (β, δ)

(1) Les calculs de gain s'appuient sur des données de poids vif (α) ou de poids vif vide (β) obtenues par la méthode des bilans (γ) ou des abattages comparés (δ), la première méthode tendant à surestimer la concentration protéique du gain de poids (Toullec *et al* 1978).

Figure 2. Relations entre la teneur en protéines ou en lipides du gain de poids vif et sa concentration énergétique.



D'après les travaux de Donnelly et Hutton (1976a et b), Arousseau *et al* (1984), Meulenbroeks *et al* (1986), Diaz *et al* (2001), Tikofsky *et al* (2001), Blome *et al* (2003), Bartlett *et al* (2006) réalisés en employant la méthode des abattages comparés (◇) ou des bilans en chambre respiratoire (◆).

besoin en EM en MJ/j. Le besoin en EM pour l'entretien était estimé à 418 kJ/kg PV^{0,75} et le rendement d'utilisation de l'EM pour la croissance à 0,69, indépendamment du poids vif, du gain de poids ou de sa composition.

2.3 / Le besoin total en Energie Métabolisable

Le besoin énergétique total du veau de boucherie s'obtient en additionnant les deux composantes d'entretien et de production :

$$EM = 0,430 \times PV^{0,75} + 3,51 \times PV^{0,355} \times GMQ^{1,2}$$

où le Poids Vif est exprimé en kg, le

Gain Moyen Quotidien en kg/j et le besoin en EM en MJ/j.

2.4 / Formes d'apport de l'énergie

Il est généralement admis que le lactose est presque totalement digestible chez le veau de boucherie : Coombe et Smith (1973) ont ainsi mesuré une digestibilité d'environ 98 % chez des veaux âgés de 6 à 14 semaines, avec une légère diminution jusqu'à 95 % au-delà de cet âge ; la fraction non digestible est alors essentiellement composée de galactose (Coombe et Smith 1973). La digestion des autres glucides dans

l'intestin du veau de boucherie est variable et généralement inférieure à celle du lactose. En particulier, la digestibilité de l'amidon est beaucoup plus faible, en particulier chez l'animal jeune : environ 50 % pendant le premier mois (Raven et Robinson 1958), puis 70 à 80 % vers la dixième semaine (Edwards et Barre 1977) et 70 % vers la treizième semaine (Natrajan *et al* 1972), essentiellement en raison d'une sécrétion d'amylase pancréatique trop faible chez le jeune veau. Ainsi, Morrill *et al* (1970) estiment que le flux pancréatique d'amylase est insuffisant jusqu'à 100 jours pour permettre une utilisation digestive correcte de l'énergie contenue dans l'amidon alimentaire. Natrajan *et al* (1972) observent en effet une diminution linéaire de la digestibilité apparente de l'amidon de près de 90 % à 60 % chez des veaux en recevant des quantités croissantes (de 2,2 à 13,2 g/kg PV) et concluent ainsi, sur la base de comparaisons de gain de poids avec des animaux témoins nourris à base de lactose, que l'apport d'amidon dans la ration du veau ne devrait pas dépasser 10 à 15 % de la matière sèche ingérée, au moins pendant les douze premières semaines d'élevage, pour ne pas constater de pertes de croissance.

L'utilisation des lipides par le veau de boucherie est également variable. La digestibilité de la matière grasse du lait est généralement considérée comme très élevée. Ainsi, Raven et Robinson (1960) ont calculé une digestibilité de 97 % chez des veaux de 40 à 45 kg. Des travaux effectués par Mathieu et Barré (1964) sur une plus large gamme d'âges (jusqu'à 100 jours) ont montré que la digestibilité de la matière grasse de laits frais avec une teneur en matières grasses de 15 à 35 g/kg est comprise entre 97 et 99 %. Différentes matières grasses de substitution d'origine animale ou végétale peuvent être employées dans l'alimentation du veau de boucherie. Leur utilisation digestive est variable et inférieure à celle de la matière grasse laitière. Toullec et Mathieu (1969) ont mesuré la digestibilité de la matière grasse de différents laits de remplacement formulés à base de laits écrémés et de matières grasses animales et végétales (introduites à raison de 20 % dans la formule de l'aliment d'allaitement) chez des veaux mâles entre 15 et 95 jours d'âge. Les digestibilités moyennes de la matière grasse des régimes formulés à base de suif, saindoux, huile d'arachide, huile de coprah et huile de palme sont respectivement 90, 96, 93, 96 et 95 %. Jenkins *et al* (1985) observent des

valeurs assez similaires avec des régimes à base de suif (93 %) et d'huile de coprah (96 %) et les digestibilités observées lors du remplacement de tout ou partie de ces matières grasses par leurs acides gras libres constitutifs sont toujours plus faibles (- 3 % en moyenne), en partie à cause d'une baisse d'absorption des acides palmitiques et stéariques libres. Ces résultats ont été obtenus chez des animaux ne recevant aucun aliment solide. D'autres travaux, réalisés chez des veaux recevant un complément solide, aboutissent à des digestibilités apparentes de la matière grasse inférieures. Ainsi, Huuskonen *et al* (2005) ont estimé la digestibilité du saindoux à 85 % chez des veaux âgés de 15 à 75 jours, ce qui est proche des résultats obtenus par Spanski *et al* (1997) chez des veaux d'âge similaire. En considérant les digestibilités des différents acides gras, il apparaît que la digestibilité des matières grasses diminue lors de l'augmentation des teneurs en acides gras longs et saturés (> C16). Néanmoins, le veau de boucherie présente, au moins pour les aliments liquides, une digestion de type monogastrique avec un faible remaniement digestif des acides gras alimentaires et une faible capacité à métaboliser les acides gras longs insaturés. Leur présence en trop grande quantité dans l'alimentation du veau de boucherie est à éviter car elle provoque des pertes de croissance et d'appétit (Toullec et Mathieu 1969).

La nature des nutriments va aussi influencer largement l'utilisation métabolique de l'énergie par l'animal : les processus métaboliques mis en jeu pour la fourniture d'énergie à partir des glucides, des lipides voire des protéines différent et laissent ainsi supposer des dépôts et des rendements d'utilisation de l'énergie différents. Ainsi, Mathieu et Thivend (1968) ont remplacé une partie des lipides par de l'amidon dans l'aliment d'allaitement (teneurs en matières grasses de l'aliment : 25 vs 35 %) de veaux de race normande jusqu'à l'âge de 100 jours et ils ont observé un accroissement de la quantité de protéines déposées aux dépens de la quantité de lipides déposés. Néanmoins, un essai similaire réduisant la teneur en matières grasses de l'aliment d'allaitement de 21 à 9 % conduit avec des veaux de race normande élevés jusqu'à un poids vif de 190 kg indique que l'efficacité d'utilisation de l'EM (67 %) n'est pas modifiée par la composition de l'énergie de la ration (Thivend *et al* 1972). Néanmoins, les résultats semblent différer selon la race

puisque les dépôts lipidiques de veaux de race frisonne n'ont pas été affectés par la teneur en lipides du régime (9 vs 21 %, Thivend et Toullec 1975).

3 / Validation des formules de prédiction des besoins et leurs modulations par les facteurs d'élevage

3.1 / Validation des formules de prédiction des besoins des veaux de boucherie

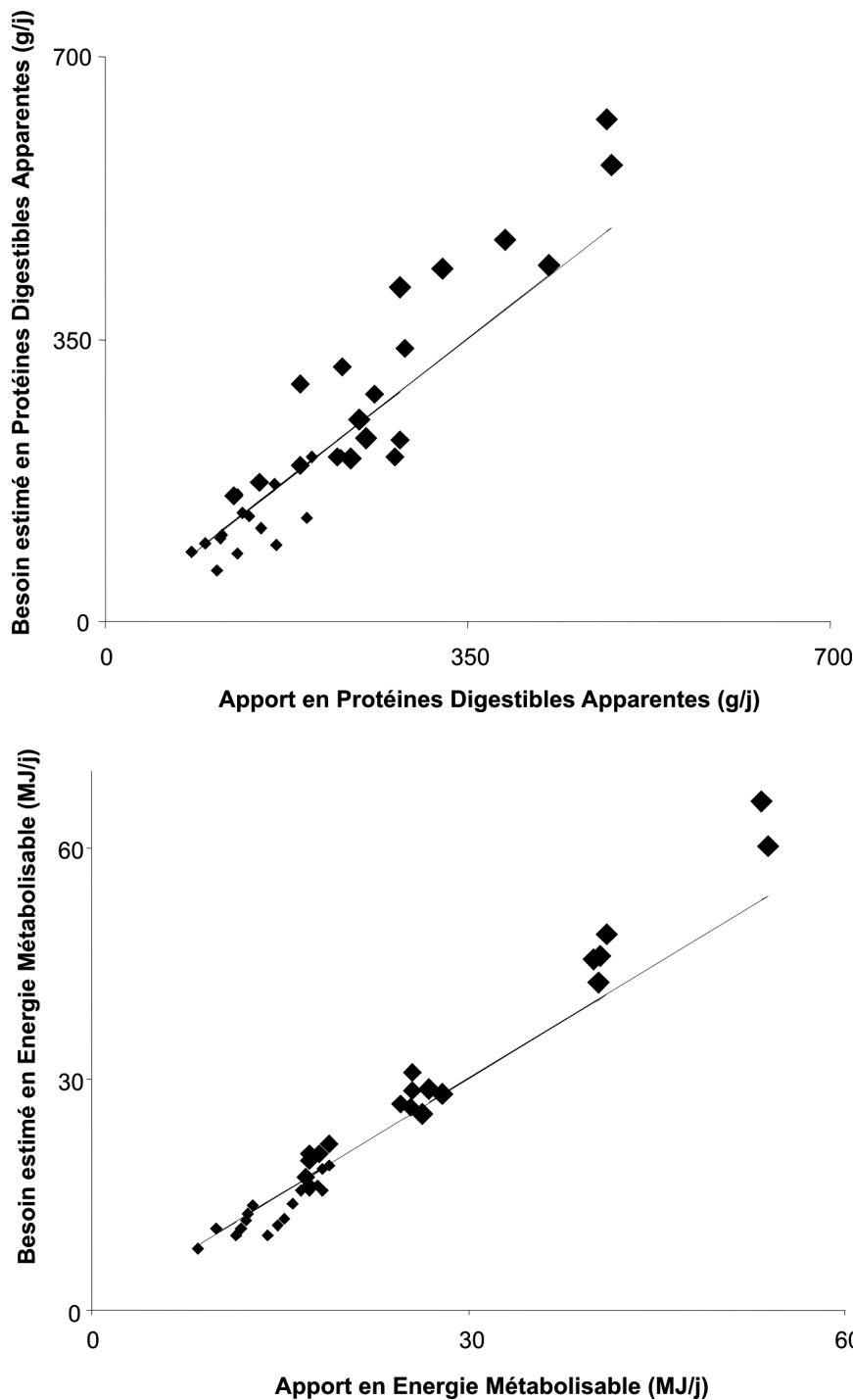
Les formules de calcul des besoins en PDA et en EM peuvent être appliquées à des données de poids vifs, d'ingestions et de gains moyens quotidiens issues d'essais zootechniques (Donnelly et Hutton 1976a et b, Holmes et Davey 1976, Blome *et al* 2003, Bartlett *et al* 2006, van den Borne *et al* 2006a, Labussière *et al* non publié) afin de calculer les besoins théoriques en PDA et en EM. Les valeurs obtenues par calculs sont ensuite comparées aux ingestions d'EM et de PDA mesurées au cours des essais (figure 3). Dans le cas des plus faibles apports, les besoins calculés à l'aide des formules sont proches des apports mesurés expérimentalement. En revanche, lors d'apports protéiques ou énergétiques plus importants, le besoin estimé en PDA ou en EM est excédentaire par rapport aux apports mesurés. Les apports les plus élevés correspondent ici à des lots d'animaux de plus fort poids vif (plus de 130 kg). Finalement, les deux équations de prédiction des besoins en PDA et en EM permettent d'estimer correctement les besoins des veaux de boucherie de moins de 100 kg ce qui correspond d'ailleurs à la gamme de poids dans laquelle elles ont été déterminées. En revanche, dans le cas d'animaux plus lourds (130-175 kg), les besoins réels des animaux semblent toujours inférieurs aux besoins théoriques prédits : de 20 % pour le besoin en PDA et de 9 % pour le besoin en EM (figure 3). Ces écarts révèlent l'inaptitude des équations de prédiction des besoins en PDA et en EM pour les animaux de plus fort poids vif. Ces équations ont été obtenues en considérant notamment que la concentration protéique du gain pondéral était constante : cet aspect mériterait d'être vérifié pour les veaux les plus lourds. Dans ce contexte, l'augmentation des poids à l'abattage des veaux de boucherie souligne la nécessité de réajuster les équations de besoins à l'aide de données chiffrées, correspondant à des animaux lourds (PV > 150 kg).

3.2 / Influence de l'activité physique et de la température

L'élevage en cases collectives, imposé par la réglementation européenne sur le bien-être animal, a accru l'activité physique des animaux (Bertrand et Martineau, communication personnelle) et les dépenses énergétiques qui y sont associées. Néanmoins, le coût énergétique de l'activité, voire celui de la station debout n'a été que faiblement étudié et essentiellement chez l'animal de faible poids (moins de 65 kg) placé en cage individuelle. Ainsi, dans les études de Schrama *et al* (1993b, 1995) et Ortigues *et al* (1994), les animaux, placés à une température ambiante de 18-19°C restaient debout en moyenne de 19 à 28 % du temps de mesure. En comparant les productions de chaleur pendant les périodes de station debout avec celles de station couchée, le coût énergétique journalier de la station debout varie dans les études précédentes de 21 à 33 kJ/kg^{0,75} et ce indépendamment du niveau d'ingestion (Schrama *et al* 1995). En revanche, en considérant l'évolution de la production de chaleur consécutive au lever, Roefs *et al* (1996) ont montré que l'effort musculaire pour le lever est plus coûteux que le maintien dans la station debout. Cependant, ces résultats ne tiennent notamment pas compte de l'agitation des animaux et ils ont été obtenus avec des animaux isolés. L'élevage en groupe, en générant un déplacement accru des animaux peut également induire un besoin énergétique supplémentaire tenant compte des activités de marche, voire de saut, dont le coût énergétique n'est pas déterminé dans ces études.

Les formules de calcul des besoins protéiques et énergétiques ne tiennent également pas compte de la température ambiante alors que celle-ci influence largement les réponses des dépôts protéiques et lipidiques : Scott *et al* (1993) observent ainsi un accroissement de la quantité d'azote excrétée dans l'urine chez des veaux de 65 kg placés à 5°C, comparativement à des veaux placés à 20°C, qu'ils expliquent, d'une part, par un accroissement de l'oxydation des acides aminés ingérés à des fins énergétiques et, d'autre part, par une augmentation de la dégradation protéique musculaire. De plus, Schrama *et al* (1993a) observent un accroissement de la production de chaleur journalière de veaux de moins de deux semaines d'âge placés à 5 ou à 9°C par rapport à des animaux similaires placés à 13 ou 18°C et ils estiment ainsi une température critique de 14°C pendant les deux première-

Figure 3. Comparaisons entre le besoin estimé (voir texte) et l'apport mesuré en Protéines Digestibles Apparentes et en Energie Métabolisable.



◆ poids vif inférieur à 60 kg, ◆ poids vif de 60 à 120 kg, ◆ poids vif supérieur à 120 kg.
D'après les études de Donnelly et Hutton (1976a et b), Holmes et Davey (1976), Blome *et al* (2003), Bartlett *et al* (2006a), van den Borne *et al* (2006), Labussière *et al* (non publié).

res semaines de la vie du veau. En comparant les productions de chaleur lorsque le veau est debout ou couché, Schrama *et al* (1993b) précisent que la température critique peut être évaluée à 13,5°C lorsque l'animal est couché et à 17°C lorsque l'animal est debout. Au-delà de cette période postnatale, la température critique est estimée à 10°C

jusqu'à huit semaines d'âge par Webster *et al* (1978) alors que Gonzalez-Jimenez et Blaxter (1962) estiment que la température critique n'est que de 8°C pour des veaux âgés d'un mois. Finalement, la réponse aux faibles températures est peu documentée, dès lors que l'on s'intéresse à des animaux de plus de deux mois. De la

même façon, l'influence de températures élevées sur les métabolismes protéiques et énergétiques du veau de boucherie n'a été que très peu étudiée, ce qui ne permet pas la détermination de lois de réponse de la perte énergétique en fonction de la température ambiante.

Conclusions

La majorité des recommandations nutritionnelles pour les veaux de boucherie s'appuient sur des travaux relativement anciens. Le besoin en Protéines Digestibles Apparentes peut ainsi être exprimé par une méthode factorielle. Néanmoins, l'emploi d'une seule valeur de rendement d'utilisation des protéines alimentaires au cours de la croissance ne semble pas permettre d'obtenir une représentation correcte de la réalité. L'estimation du besoin en Energie Métabolisable reste limitée tant au niveau du besoin d'entretien que du besoin de croissance : l'influence de l'activité de l'animal sur les dépenses énergétiques est peu documentée et la formule d'estimation du besoin de croissance proposée par Toullec (1989) ne tient pas compte de la variabilité de composition du gain de poids liée aux apports protéiques et énergétiques et de leur équilibre dans la ration du veau. Les deux formules présentées constituent en effet deux estimations séparées des besoins protéiques et énergétiques : la formule du besoin protéique suppose a priori la satisfaction du besoin énergétique et inversement pour la formule du besoin énergétique.

L'emploi complémentaire d'un critère synthétique comme le rapport PDA/EM pourrait ainsi préciser l'influence du régime sur la composition du gain de poids et par conséquent sur la composition de la carcasse : outre l'équilibre entre les apports protéiques et énergétiques, ce rapport renseigne également partiellement sur la nature de l'énergie fournie à l'animal (protéines vs glucides et lipides). Quelques recommandations concernant ce critère chez des animaux jeunes sont disponibles dans la littérature : si un rapport de 10,8 g PDA/MJ EM semble suffisant pour des veaux mâles de race Holstein de moins de soixante jours à un niveau de rationnement en matière sèche journalier équivalent à 1,25 % du poids vif, une augmentation de l'ingestion journalière de matière sèche (et donc de l'apport énergétique) conduit à préconiser une augmentation de ce rapport à 12,5 g PDA/MJ EM (Bartlett *et al* 2006). A l'inverse, la diminution du rapport

entre les PDA et l'EM se traduirait par une diminution de la vitesse de croissance et de la concentration en protéines du gain pondéral. Finalement, l'estimation et la prise en compte du rapport entre les PDA et l'EM dans la formulation des recommandations nutritionnelles pour l'ensemble de la durée d'élevage permettraient de préciser l'influence du régime sur la composition du gain de poids et par conséquent sur la composition finale de la carcasse.

Le second versant des recommandations nutritionnelles serait alors la prédiction de la nature du gain de poids des veaux de boucherie, qui est un phénomène complexe. En particulier, le dépôt protéique ne peut pas être raisonné selon un schéma en deux phases : l'une dépendante de l'apport protéique et l'autre dépendante de l'apport énergétique (van den Borne *et al* 2006b). Gerrits *et al* (1996) ont ainsi montré que l'augmentation de l'apport protéique à des veaux de 80 à 240 kg de poids vif entraîne un accroissement du dépôt protéique. Mais l'accroissement de l'apport énergétique entraîne égale-

ment une augmentation du dépôt protéique, y compris chez les animaux recevant un faible niveau de protéines dans leur ration et pour lesquels l'ingestion énergétique ne semblait, a priori, pas limitante. Ainsi, la description de la croissance des veaux de boucherie et l'estimation des besoins nécessaires pour obtenir cette croissance doit tenir compte du rapport entre les protéines et l'énergie dans la ration. Néanmoins, les données de la bibliographie, en particulier dans le cas d'animaux de plus de 150 kg, nous semblent insuffisantes pour définir les lois de réponse du gain de protéines et de lipides et *in fine*, de gain de poids vif chez le veau de boucherie en fonction de son poids vif et de ses caractéristiques génétiques.

De plus, l'apport d'aliment solide, imposé par la réglementation européenne sur le bien-être animal peut également modifier considérablement le tractus digestif (Cozzi *et al* 2002, Suarez *et al* 2006a) et les phénomènes digestifs tant au niveau du reticulorumen (Suarez *et al* 2006b) que de l'intestin grêle (Harrison et Leat 1975).

Mais ces aspects ne sont que faiblement documentés.

Enfin, l'approche du besoin énergétique des veaux de boucherie n'a pas connu une évolution similaire à celle développée pour le porc ou les ruminants. Ces aspects nécessiteraient des approfondissements expérimentaux pour valider ou corriger les lois de variation du besoin dans le cas particulier du veau de type Prim'Holstein de plus de 150 kg recevant de l'aliment solide. Ceci permettrait également de fournir un matériel suffisant à la construction de lois de réponse des dépôts protéiques et lipidiques en fonction des caractéristiques de l'aliment ingéré.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet NUTRIVO conduit conjointement par l'INRA et l'Institut de l'Élevage et soutenu financièrement et techniquement par les régions Bretagne et Pays de la Loire, Interveaux et le Syndicat de la Vitellerie Française.

Références

- Ainslie S.J., Fox D.G., Perry T.C., Ketchen D.J., Barry M.C., 1993. Predicting amino acid adequacy of diets fed to holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 71, 1312-1319.
- Arieli A., Schrama J.W., van der Hel W., Verstegen M.W.A., 1995. Development of metabolic partitioning of energy in young calves. *J. Dairy Sci.*, 78, 1154-1162.
- Aurousseau B., Vermorel M., Bouvier J.C., 1984. Influence du remplacement d'une partie du suif d'un aliment d'allaitement par de la tricapriline ou de l'huile de coprah sur l'utilisation de l'énergie et de l'azote par le veau préruminant. *Reprod. Nutr. Dev.*, 24, 265-279.
- Bartlett K.S., McKeith F.K., VandeHaar M.J., Dahl G.E., Drackley J.K., 2006. Growth and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein at two feeding rates. *J. Anim. Sci.*, 84, 1454-1467.
- Blome R.M., Drackley J.K., McKeith F.K., Hutjens M.F., McCoy G.C., 2003. Growth, nutrient utilization, and body composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. *J. Anim. Sci.*, 81, 1641-1655.
- Coombe N.B., Smith R.H., 1973. Absorption of glucose and galactose and digestion and absorption of lactose by the preruminant calf. *Brit. J. Nutr.*, 30, 331-344.
- Cozzi G., Gottardo F., Mattiello S., Canali E., Scanziani E., Verga M., Andrighetto I., 2002. The provision of solid feeds to veal calves: I. Growth performance, forestomach development, and carcass and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 80, 357-366.
- Davis C.L., Drackley J.K., 1998. The development, nutrition, and management of the young calf. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 207-257.
- Derno M., Jentsch W., Schweigel M., Kuhla S., Metges C.C., Matthes H.D., 2005. Measurements of heat production for estimation of maintenance energy requirements of Hereford steers. *J. Anim. Sci.*, 83, 2590-2597.
- Diaz M.C., Van Amburgh M.E., Smith J.M., Kelsey J.M., Hutten E.L., 2001. Composition of growth of Holstein calves fed milk replacer from birth to 105-kilogram body weight. *J. Dairy Sci.*, 84, 830-842.
- Donnelly P.E., Hutton J.B., 1976a. Effects of dietary protein and energy on the growth of Friesian bull calves. 1. Food intake, growth, and protein requirements. *N. Z. J. Agric. Res.*, 19, 289-297.
- Donnelly P.E., Hutton J.B., 1976b. Effects of dietary protein and energy on the growth of Friesian bull calves. 2. Effects of level of feed intake and dietary protein content on body composition. *N. Z. J. Agric. Res.*, 19, 409-414.
- Edwards D.G., Barre P., 1977. The digestibility of wheat starch and maize starch by the preruminant calf. *Proc. Nutr. Soc.*, 36, 144A.
- Foldager J., Huber J.T., Bergen W.G., 1977. Methionine and sulfur amino acid requirement in the preruminant calf. *J. Dairy Sci.*, 60, 1095-1104.
- Garrett W.N., 1979. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. In: Energy metabolism. Proceedings of the eighth symposium on energy metabolism. Mount, L.E. (Eds). Butterworths, London, UK, 3-7.
- Gerrits W.J., Tolman G.H., Schrama J.W., Tamminga S., Bosch M.W., Verstegen M.W., 1996. Effect of protein and protein-free energy intake on protein and fat deposition rates in preruminant calves of 80 to 240 kg live weight. *J. Anim. Sci.*, 74, 2129-2139.
- Gerrits W.J., Schrama J.W., Tamminga S., 1998. The marginal efficiency of utilization of all ileal digestible indispensable amino acids for protein gain is lower than 30% in preruminant calves between 80 and 240 kg live weight. *J. Nutr.*, 128, 1774-1785.
- Gonzalez-Jimenez E., Blaxter K.L., 1962. The metabolism and thermal regulation of calves in the first month of life. *Brit. J. Nutr.*, 16, 199-212.
- Guilloteau P., Toullec R., 1980. Digestion of milk protein and methanol-grown bacteria protein in the preruminant calf. 1. Kinetics and balance in the terminal small intestine and faecal balance. *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 601-613.
- Guilloteau P., Toullec R., Grongnet J.F., Patureau-Mirand P., Prugnaud J., Sauvant D., 1986. Digestion of milk, fish and soya-bean protein in the preruminant calf: flow of digesta, apparent digestibility at the end of the ileum and amino acid composition of ileal digesta. *Brit. J. Nutr.*, 55, 571-592.
- Harrison F.A., Leat W.M.F., 1975. Digestion and absorption of lipids in non-ruminant and ruminant animals: a comparison. *Proc. Nutr. Soc.*, 34, 203-210.
- Henry Y., 1993. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. *INRA Prod. Anim.*, 6, 199-212.

- Holmes C.W., Davey A.W.F., 1976. The energy metabolism of young jersey and friesland calves fed fresh milk. *Anim. Prod.*, 23, 43-43.
- Huuskonen A., Khalili H., Kiljala J., Joki-Tokola E., Nousiainen J., 2005. Effects of vegetable fats versus lard in milk replacers on feed intake, digestibility, and growth in Finnish Ayrshire bull calves. *J. Dairy Sci.*, 88, 3575-3581.
- Jenkins K.J., Kramer J.K., Sauer F.D., Emmons D.B., 1985. Influence of triglycerides and free fatty acids in milk replacers on calf performance, blood plasma, and adipose tissue. *J. Dairy Sci.*, 68, 669-680.
- Kanjanaputhipong J., 1998. Supplementation of milk replacers containing soy protein with threonine, methionine, and lysine in the diets of calves. *J. Dairy Sci.*, 81, 2912-2915.
- Kirchgesner M., Müller H.L., Neesse K.R., 1976. Zur partiellen Verwertung der Futterenergie beim Mastkalb. *Zeitschr. Tierphysiol. Tierernähr. Futt.*, 37, 334-337.
- Langlois A., Corring T., Février C., 1987. Effects of wheat bran on exocrine pancreas secretion in the pig. *Reprod. Nutr. Dev.*, 27, 929-939.
- Lodge G.A., Lister E.E., 1973. Effects of increasing the energy value of whole milk diet for calves. 1. Nutrient digestibility and nitrogen retention. *Can. J. Anim. Sci.*, 53, 307-316.
- Lynch G.P., Pike T.L., Bond J., 1978. Nutritional responses of calves fed milk or a milk replacer. *J. Dairy Sci.*, 61, 212-220.
- Mathieu C.M., Barré P.E., 1964. Digestion et utilisation des aliments par le veau préruminant à l'engrais. 1. Utilisation des laits entiers ou partiellement écrémés. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Bioph.*, 4, 403-422.
- Mathieu C.M., Thivend P., 1968. Digestion et utilisation des aliments par le veau préruminant à l'engrais. 3. Remplacement des matières grasses du lait par différents amidons. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Bioph.*, 8, 249-271.
- Meulenbroeks J., Verstegen M.W.A., Van Der Hel W., Korver S., Kleinhout G., 1986. The effect of genotype and metabolizable energy intake on protein and fat gain in veal calves. *Anim. Prod.*, 43, 195-200.
- Morrill J.L., Stewart W.E., McCormick R.J., Fryer H.C., 1970. Pancreatic amylase secretion by young calves. *J. Dairy Sci.*, 53, 72-78.
- Natrajan S., Polan C.E., Chandler P.T., Jahn E., Huber J.T., 1972. Ruminant and post-ruminant utilization of starch in the young bovine. *J. Dairy Sci.*, 55, 238-244.
- Neergaard L., 1976. A comparative study of nitrogen and energy metabolism in young calves fed three liquid diets. In: *Energy metabolism of farm animals*. Vermorel M., de Bussac G., (Eds). Clermond-Ferrand, France, 205-208.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., van Milgen J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- NRC, National Research Council, 1996. *Energy*. In: *Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy Press, Washington, USA, 1-15.
- NRC, National Research Council, 2001. *Nutrient requirements of the young calf*. In: *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy Press, Washington, USA, 214-233.
- Ortigue I., Martin C., Vermorel M., Anglaret Y., 1994. Energy-cost of standing and circadian changes in energy-expenditure in the preruminant calf. *J. Anim. Sci.*, 72, 2131-2140.
- Patureau-Mirand P., Prugnaud J., Pion R., 1973. Influence de la supplémentation en lysine d'un aliment d'allaitement sur la teneur en lysine libre du sang et du muscle du veau préruminant. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Bioph.*, 13, 683-689.
- Payne D., Juste C., Corring T., 1986. Effet du son de blé sur la sécrétion biliaire chez le porc. Résultats préliminaires. *Reprod. Nutr. Dev.*, 26, 1192.
- Raven A.M., Robinson K.L., 1958. Studies of the nutrition of the young calf. A comparison of starch, lactose, and hydrogenated palm oil, with butterfat, in milk diets. *Brit. J. Nutr.*, 12, 469-482.
- Raven A.M., Robinson J.B., 1960. Studies of the nutrition of the young calf. 3. A comparison of unhydrogenated palm-kernel oil, hydrogenated palm-kernel oil, and butterfat, as constituents of a milk diet. *Brit. J. Nutr.*, 14, 135-146.
- Roefs J.P.A., Schrama J.W., Schouten W.G.P., 1996. Effect of temperature and food intake on metabolic rate and posture of preruminant calves. *Physiol. Behav.*, 60, 203-209.
- Roy J.H.B., Stobo I.J.F., Gaston H.J., Greatorex J.C., 1970a. The nutrition of the veal calf. 2. The effect of different levels of protein and fat in milk substitutes diets. *Brit. J. Nutr.*, 24, 441-457.
- Roy J.H.B., Stobo I.J.F., Gaston H.J., 1970b. The nutrition of the veal calf. 3. A comparison of liquid skim milk with a diet of reconstituted spray-dried skim-milk powder containing 20 % margarine fat. *Brit. J. Nutr.*, 24, 459-475.
- Sauvart D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. 2^{ème} Ed. revue et corrigée, INRA Editions, Paris, France, 301p.
- Schneeman B.O., Richter B.D., Jacobs L.R., 1982. Response to dietary wheat bran in the exocrine pancreas and intestine of rats. *J. Nutr.*, 112, 283-286.
- Schrama J.W., van der Hel W., Arieli A., Verstegen M.W.A., 1992. Alteration of energy metabolism of calves fed below maintenance during 6 to 14 days of age. *J. Anim. Sci.*, 70, 2527-2532.
- Schrama J.W., Arieli A., Vanderhel W., Verstegen M.W.A., 1993a. Evidence of increasing thermal requirement in young, unadapted calves during 6 to 11 days of age. *J. Anim. Sci.*, 71, 1761-1766.
- Schrama J.W., Arieli A., Brandsma H.A., Luiting P., Verstegen M.W., 1993b. Thermal requirements of young calves during standing and lying. *J. Anim. Sci.*, 71, 3285-3292.
- Schrama J.W., Roefs J.P., Gorssen J., Heetkamp M.J., Verstegen M.W., 1995. Alteration of heat production in young calves in relation to posture. *J. Anim. Sci.*, 73, 2254-2262.
- Scott S.L., Christopherson R.J., Thompson J.R., Baracos V.E., 1993. The effect of a cold environment on protein and energy-metabolism in calves. *Brit. J. Nutr.*, 69, 127-139.
- Sève B., 1994. Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. *INRA Prod. Anim.*, 7, 275-291.
- Spanski N.A., Drackley J.K., Davis C.L., Jaster E.H., 1997. Utilization of supplemental triglycerides or free fatty acids by calves from 4 to 10 weeks of age. *J. Dairy Sci.*, 80, 573-585.
- Stobo I.J.F., Roy J.H.B., 1973. The protein requirement of the ruminant calf. *Brit. J. Nutr.*, 30, 113-125.
- Suarez B.J., Van Reenen C.G., Gerrits W.J.J., Stockhofe N., van Vuuren A.M., Dijkstra J., 2006a. Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: II. Rumen development. *J. Dairy Sci.*, 89, 4376-4386.
- Suarez B.J., Van Reenen C.G., Beldman G., van Delen J., Dijkstra J., Gerrits W.J.J., 2006b. Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: I. Animal performance and rumen fermentation characteristics. *J. Dairy Sci.*, 89, 4365-4375.
- Terosky T.L., Heinrichs A.J., Wilson L.L., 1997. A comparison of milk protein sources in diets of calves up to eight weeks of age. *J. Dairy Sci.*, 80, 2977-2983.
- Thivend P., Toullec R., 1975. Influence du remplacement d'une partie des lipides par des produits amylicés dans les aliments d'allaitement destinés au veau de boucherie : cas des animaux mâles de race frisonne. *Bull. Tech CRZV Theix*, 19, 23-28.
- Thivend P., Vermorel M., Toullec R., 1972. Utilisation des produits amylicés dans les aliments d'allaitement destinés au veau préruminant à l'engrais. IX^{ème} Cong. Int. Nutr., Mexico, Mexique, 16 p.
- Tikofsky J.N., Van Amburgh M.E., Ross D.A., 2001. Effect of varying carbohydrate and fat content of milk replacer on body composition of Holstein bull calves. *J. Anim. Sci.*, 79, 2260-2267.
- Toullec R., 1988. Alimentation du veau de boucherie. In: *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Jarrige R. (Ed), INRA Editions, Paris, France, 185-199.
- Toullec R., 1989. Veal calves. In: *Ruminant nutrition recommended allowances and feed tables*. Jarrige R. (Ed), INRA Editions, Paris, France, 109-119.
- Toullec R., Mathieu C.M., 1969. Utilisation digestive des matières grasses et de leurs principaux acides gras par le veau préruminant à l'engrais. Influence sur la composition corporelle. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Bioph.*, 9, 139-160.
- Toullec R., Thivend P., Vermorel M., Guéguen L., Troccon J.L., Guilhermet R., Geay Y., 1978. Veaux. In: *Alimentation des ruminants : principes de la nutrition et de l'alimentation des ruminants, besoins alimentaires des animaux, valeur nutritive des aliments*. Jarrige R. (Ed), INRA Editions, Versailles, France, 245-296.
- van den Borne J.J.G.C., Verstegen M.W.A., Alferink S.J.J., giebels R.M.M., Gerrits W.J.J., 2006a. Effects of feeding frequency and feeding level on nutrient utilization in heavy preruminant calves. *J. Dairy Sci.*, 89, 3578-3586.
- van den Borne J.J.G.C., Verdonk J.M.A.J., Schrama J.W., Gerrits W.J.J., 2006b. Reviewing the low efficiency of protein utilization in heavy preruminant calves - a reductionist approach. *Reprod. Nutr. Dev.*, 46, 121-137.
- van Es A.J.H., Nijkamp H.J., van Weerden E.J., van Hellemond K.K., 1969. Energy, carbon and nitrogen balance experiments with veal calves. In: *Energy metabolism of farm animals*. Blaxter K. L., Thorbek G., Kielanowski J. (Eds). EAAP Publication, London, UK, 12, 197-201.

van Weerden E.J., 1972. Nitrogen balance in relation to protein and amino acid requirements in the veal calf. In: International milkreplacer Symposium. National Renderers Association, Brussels, Belgium, 31-44.

van Weerden E.J., Huisman J., 1985. Amino acid requirements of the young veal calf. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 53, 232-244.

Vermorel M., 1976. Le métabolisme énergétique du veau de boucherie. INRA Commission Bovine, C.R.Z.V. Nouzilly, 10 p.

Vermorel M., Bouvier J.C., Thivend P., Toullec R., 1974. Utilisation énergétique des aliments d'alaitement par le veau préruminant à l'engrais à différents poids. In: 6th Symp. Energy Metabolism of Farm animals. Menke K. H., Lantzsch H. J.,

Reichl J. R.(Eds). EAAP Publication, Stuttgart, Allemagne, 14, 143-146.

Vermorel M., Bouvier J.C., Geay Y., 1979. Energy utilisation by growing calves: effects of age, milk intake and feeding level. In: Energy Metabolism. Mount L.E. (Eds). Butterworths, London, UK, 26, 49-53.

Vermorel M., Bouvier J.C., Geay Y., 1980. Utilisation de l'énergie des aliments par le veau ruminant. Influence de l'apport de lait, du niveau d'alimentation et de l'âge du veau. *Ann. Zootech.*, 29, 65-86.

Vermorel M., Dardillat C., Vernet J., Saido, Demigne C., 1983. Energy metabolism and thermoregulation in the newborn calf. *Ann. Rech. Vét.*, 14, 382-389.

Vermorel M., Vernet J., Dardillat C., Saido, Demigne C., 1989. Energy metabolism and thermoregulation in the newborn calf; variations during the first day of life and differences between breeds. *Can. J. Anim. Sci.*, 69, 103-111.

Webster A.J.F., Gordon J.G., Smith J.S., 1978. The cold tolerance of beef and dairy type calves in the first weeks of life. *Anim. Prod.*, 26, 85-92.

Williams A.P., Hewitt D., 1979. The amino acid requirements of the preruminant calf. *Brit. J. Nutr.*, 41, 311-319.

Résumé

Les connaissances sur les besoins nutritionnels des veaux de boucherie ont peu évolué depuis la parution des références formulées par Toullec (1988). Ces dernières ont été élaborées à partir de travaux antérieurs et définissent les besoins en protéines digestibles apparentes et en énergie métabolisable selon le poids du veau, son niveau d'ingestion et le gain de poids souhaité. Des travaux effectués au cours de la dernière décennie ont permis de confirmer en partie les équations de prédiction de Toullec (1988) mais quelques aspects ont été nuancés, notamment dans l'estimation de l'efficacité de rétention des protéines alimentaires, qui ne peut plus être considérée comme constante dès lors que l'on s'intéresse à des animaux d'un poids vif élevé mais plutôt comme une fonction décroissante de l'âge (ou du poids vif). Finalement, l'expression indépendante des besoins protéiques et énergétiques nécessiterait d'être complétée par un critère synthétique : le rapport entre les concentrations en protéines digestibles apparentes et en énergie métabolisable. Ces aspects ne sont que faiblement documentés, surtout lorsque les animaux sont lourds : il existe en effet très peu de références concernant les besoins ou les réponses de croissance des veaux de plus de 150 kg ; de surcroît, les génotypes ont évolué et de nouvelles techniques d'élevage se sont développées (appui d'aliment solide, élevage en groupe), qui montrent la nécessité de remise à jour de ces références.

Abstract

Protein and energy requirements of veal calves: estimation and variation factors

Little knowledge on the nutritional requirements of veal calves has been acquired since the recommendations of Toullec (1988). Most of the studies used for these recommendations were conducted between the nineteen-sixties and nineteen-eighties, and requirements were expressed as apparently digested proteins and metabolisable energy related to calf body weight, feed intake and body weight gain. Studies conducted later have confirmed these recommendations. However, some points have to be modulated. The efficiency of retention of digested protein cannot be considered as a constant parameter (especially for heavy calves) but rather as a decreasing function of the calf's age or body weight. Separate estimation of both protein and energy requirements would allow the establishment of a synthetic criterion such as the ratio between apparently digested proteins and metabolisable energy. This criterion is rarely used, especially for animals heavier than 150 kg. Moreover, genotypes have evolved (and are still evolving) and new production techniques such as roughage feeding and group-housing are still being developed. These aspects suggest that the updating of the scientific information on nutrient requirements and utilisation in veal calves is necessary in order to propose new recommendations.

LABUSSIÈRE E., BERTRAND G., NOBLET J., 2007. Les besoins protéiques et énergétiques du veau de boucherie : détermination et facteurs de variation. *INRA Prod. Anim.*, 20, 355-368.